

ISSN 2411-9792

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

научно-практический журнал

№5 (8)

2016 года

Основные направления

- ✓ *Технология и оборудование механической и физико-технической обработки*
- ✓ *Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов*
- ✓ *Порошковая металлургия и композиционные материалы*
- ✓ *Информационно-измерительные и управляющие системы (в промышленности)*
- ✓ *Машиноведение, системы приводов и детали машин*
- ✓ *Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности)*
- ✓ *Системы автоматизации проектирования (машиностроение)*
- ✓ *Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ*
- ✓ *Системный анализ, управление и обработка информации (в информатике, вычислительной технике и автоматизации)*
- ✓ *Электротехнические комплексы и системы*
- ✓ *Электромеканика и электрические аппараты*
- ✓ *Безопасность в чрезвычайных ситуациях (машиностроение и металлообработка)*
- ✓ *Эксплуатация автомобильного транспорта*
- ✓ *Приборы и методы измерения (электрических и магнитных величин)*

Главный редактор – Куц Вадим Васильевич, д.т.н., профессор, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

Ответственный редактор – Горохов Александр Анатольевич, к.т.н., доцент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

Излагается теория, методология и практика научных исследований в сфере машиностроения, материаловедения, и смежных областей знания. Для научных работников, специалистов, преподавателей, аспирантов, студентов. Индексация: статьи журнала включаются в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), доступный в Интернете по адресу http://elibrary.ru/title_about.asp?id=54928 (Научная электронная библиотека).

Адрес редакции:
305018, г. Курск, улица Монтажников, д.12
телефон +7-910-730-82-83
e-mail: regionika@yandex.ru

Учредитель: ЗАО "Университетская книга"
305018, г. Курск, улица Монтажников, д.12
телефон +7-910-730-82-83
e-mail: regionika@yandex.ru

© Юго-Западный государственный университет, Россия
© ЗАО «Университетская книга», 2016

Редакционный совет

Агеев Евгений Викторович д.т.н., профессор кафедры АТСиП Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

Латыпов Рашит Абдулхакович д.т.н., профессор, заведующий кафедры технологий и оборудования металлургических процессов, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), Россия

Ткаченко Юрий Сергеевич д.т.н., профессор, Воронежский государственный технический университет, Россия

Гвоздев Александр Евгеньевич д.т.н., профессор, Тульский государственный педагогический университет имени Л.Н. Толстого, Россия

Ушаков Борис Константинович д.т.н., профессор кафедры материаловедения, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Булычев Всеволод Валериевич д.т.н., профессор, декан конструкторско-механического факультета, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, Россия

Бурак Павел Иванович д.т.н., профессор, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Россия

Еремеева Жанна Владимировна д.т.н., профессор, профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Россия

Сирота Вячеслав Викторович к.ф.-м.н., руководитель центра конструкционной керамики и инженерного прототипирования, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия

Агуреев Игорь Евгеньевич д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автомобилей и автомобильного хозяйства, Тульский государственный университет, Россия

Будыкина Татьяна Алексеевна д.т.н., профессор, Курский государственный университет, г.Курск, Россия

Щец Сергей Петрович д.т.н., профессор, профессор кафедры автомобильного транспорта, Брянский государственный технический университет, Россия

Алехин Юрий Георгиевич к.т.н., доцент, заведующий кафедры технологии металлов и ремонта машин, Курская государственная сельскохозяйственная академия им. проф. И.И. Иванова, г. Курск, Россия

Агеева Екатерина Владимировна к.т.н., доцент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

ОГЛАВЛЕНИЕ

Абдурахманова М.И., Ямалетдинова М.Ф. РЕГУЛИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ В ЭКСТРАКЦИОННО - ДИСТИЛЛЯЦИОННОМ АГРЕГАТЕ..... 6

Алешин Р.Р., Алешина Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА СЪЕМНОГО ГРЕБНЯ В ЛИНИИ ПО РАЗВОЛОКНЕНИЮ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ..... 11

Блинова К.П., Чермошенцев С.Ф. ВОЗДЕЙСТВИЕ РАЗРЯДА МОЛНИИ В ФЮЗЕЛЯЖ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА 15

Бойбутаев С.Б. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДЫ. 20

Бузоверов Е.А., Чернов И.Д., Исаяев М.В., Махов О.Н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВОГО ИСТОЧНИКА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВАНИИ ЭКСПРЕСС РАСЧЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ..... 28

Бурых Г. В., Кузнецова С.Э., Дудин А.В. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЧЕХЛОВ..... 33

Васильев И.В., Данилушкин А.И., Данилушкин В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ЖИДКОСТИ 39

Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Умнов В.И., Точилкин В.В. КОНСТРУИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ СТАЛИ ОТ ВТОРИЧНОГО ОКИСЛЕНИЯ ПРИ РАЗЛИВКЕ НА МНЛЗ..... 46

Гатауллин Р.Ф., Галеева Л.Х. ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ФОТОЛИТОГРАФИИ..... 51

Головань А.А., Латухин Е.И., Борисов Д.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕДИ НА ПРОДУКТЫ СИНТЕЗА МАХ-ФАЗЫ В СИСТЕМЕ TI-C-SI..... 55

Гусев В.Г., Якутин И.А. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕСУЩИХ ФЕРМ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ SOLID WORKS 59

Дибиров С.Ю., Бахмудкадиев Н.Д., Дудин В.И. ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ СТАНКОВ С ЧПУ 65

Дикевич А.В., Саплинова В.В., Севрюгина Н.С. РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ СПОРТИВНЫХ МОЛОДЕЖНЫХ ПЛОЩАДОК И ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ КОМПЛЕКТУЮЩИХ СПОРТИВНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ 73

Исломова М.С., Салиева О.К. ПРИМЕНЕНИЕ КАСКАДНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ В ПРОЦЕСС КОНВЕРСИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА..... 77

Кадилов Э.Б., Мухитдинов Д.П. ВЫЧИСЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ПОТОКА ЖИДКОСТИ И ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ..... 84

Казимова Г. Х., Хожиева М.С. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО- КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАНИИ 92

Карасев В.В., Кольцов Д.Б. СЛАБОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ ИНДУКТИВНО СВЯЗАННЫХ КОНТУРОВ НА ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС..... 97

Козачухненко И.Н., Ислямгалиев А.И., Бондарев А.А., Крайнев Д.В. РЕЗАНИЕ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ, КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ..... 103

Корниенко А.А., Катаманов А.А., Егорова Н.Е. РАЗРАБОТКА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПАРАФИНИРОВАНИЯ НИТЕЙ..... 107

Королев А.В., Мазина А.А., Яковичин А.С., Шалунов А.В. МЕТОД ВИБРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ МАТЕРИАЛА КОЛЬЦЕВОЙ ДЕТАЛИ 111

Королев А.В., Мазина А.А., Яковичин А.С., Шалунов А.В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ 116

Лашин А.Н., Андреева Л.П., Овчинников В.В. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА СВАРКИ НА СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ СПЛАВА 1565с, ВЫПОЛНЕННЫХ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ 120

Макаров А.Г., Яняк С.В. РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ ДОЛБЕЖНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ 126

Маннанов А.Х., Галимова М.П. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЕЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВ 130

Мухитдинов Д.П., Авазов Ю.Ш. ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН..... 136

Надеждина М.Е., Шинкевич А.И. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СКЛАДИРОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ..... 142

Печенкин А.Ю., Карцев И.И., Колтунов А.С., Куценко О.И. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ 147

Пулатов Х.Л., Турабжанов С.М., Турсунов Т.Т., Назирова Р.А. ФОСФОРНОКИСЛЫЕ КАТИОНИТЫ ПОЛИКОНДЕНСАЦИОННОГО ТИПА 153

Рыкова Ю.В., Черунова И.В. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ С УЧЕТОМ ВОЗРАСТНОЙ КАТЕГОРИИ ПОТРЕБИТЕЛЯ 159

Саттаров О.У. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АЗОТНО-ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПЛАВА АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ И ФОСФОРИТОВ 164

Семенов К.Г., Чернов В.В., Колосков С.В. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫПЛАВКИ БЕСКИСЛОРОДНОЙ МЕДИ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ 170

Сидоров А.В., Борисенко Д.И., Шербакова И.В. ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА СТАНДАРТОВ РАДИОСВЯЗИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРАВООХРАНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНАХ, МЕТОДОМ ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ..... 177

Степанов М.С., Домбровский Ю.М. ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОДУГОВОГО НАГРЕВА ДЛЯ ВАНАДИРОВАНИЯ СТАЛИ 183

Тимофеева Н.Ю., Сушков О.Д., Тимофеева Г.Ю., Васильков Г.Л. ГАЛЬВАНОТЕРМИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ Fe-Ni-Cr НА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ Cr3 189

<i>Убайдуллаева Ш.Р., Атаева З.Д.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКИХ ГРАФОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ.....	193
<i>Убайдуллаева Ш.Р., Атаева З.Д.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ 1-ГО ПОРЯДКА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ МЕТОДОМ ШАГОВ И МЕТОДОМ ГРАФОВЫХ МОДЕЛЕЙ.....	198
<i>Фомина Л.Р., Дубовсков Е.А., Фролов Д.В., Кононец В.В.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ ПРИ СКЛОННОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ.....	203

РЕГУЛИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ В ЭКСТРАКЦИОННО-ДИСТИЛЛЯЦИОННОМ АГРЕГАТЕ

*Абдурахманова Мукаддас Ирисматовна, соискатель
Ямалетдинова Мунира Фадитовна, соискатель*

*Бухарский инженерно-технологический институт, г. Бухара, Узбекистан
(e-mail: Munira-Ruslan77-79@mail.ru)*

В данной статье рассматривается технология экстрагирования растительного сырья для полного извлечения масел. Также решается вопрос автоматизации процесса в экстракционно-дистилляционном агрегате.

Ключевые слова: процесс, пищевой, микроконтроллер, экстракция, автоматизация, система управления.

Извлечение эфирных масел из растительного сырья основано на экстрагировании органическими растворителями или отгонке с паром. Это допускает значительные потери летучих душистых веществ и приводит к нарушению природной сбалансированности компонентов в составе эфирных масел и к нежелательному снижению их качества.

В соответствии с существующей теорией, подготовка сырья к прессованию заключается в том, чтобы максимально разрушить клетку масличных культур в процессе измельчения. А в процессе влаготепловой обработки ослабить силы, удерживающие масло в клетке, за счет увеличения пластичности оболочки клеток увлажнением и затем произвести сушку для придания ей определенных упругих свойств, обеспечивающих условия прессования.

В технологии извлечения лекарственных масел из ядра плодовых косточек, виноградных семян и др., масло извлекают из сырья холодным трехкратным прессованием. При этом выход составляет до 30-40 % от общего количества масла в сырье.

Развитие методов энерго-ресурсосберегающих технологий, позволяющих получить новые качественные продукты в фармацевтической, парфюмерной и пищевой промышленности, обусловлено острой общественной потребностью в высококачественных лекарствах и в продовольствиях, а также в экологически чистых производствах.

Схема автоматизации экспериментальной установки для экстракции и дистилляции масла из плодовых косточек состоит из трёх одноконтурных систем автоматического регулирования, каждая из которых выполняет одну из задач регулирования.

Технологическая схема разработанного и изготовленного опытно-промышленного агрегата с применением теплового насоса и солнечного коллектора по извлечению экстрактов из растительного сырья методом прямой экстракции состоит из экстрактора – орошения Э, теплообменника Т, дистиллятора Д, конденсатора К, компрессора теплового насоса ТН, насо-

$$\varphi_1(t)=0, \varphi_1(t)=0$$

Входное воздействие - единичная ступенчатая функция $f(t)=1$.

Используя дифференциальное уравнение системы, строим ее структурную схему (рис.2,а).

Графовая модель системы представлена на рис.2,б. С помощью графовой модели системы определяются выражения для нахождения промежуточных и выходных координат системы. Соотношения являются рекуррентными, что позволяет легко определить выходной процесс с использованием любой системы программирования, предназначенной для решения инженерных задач.

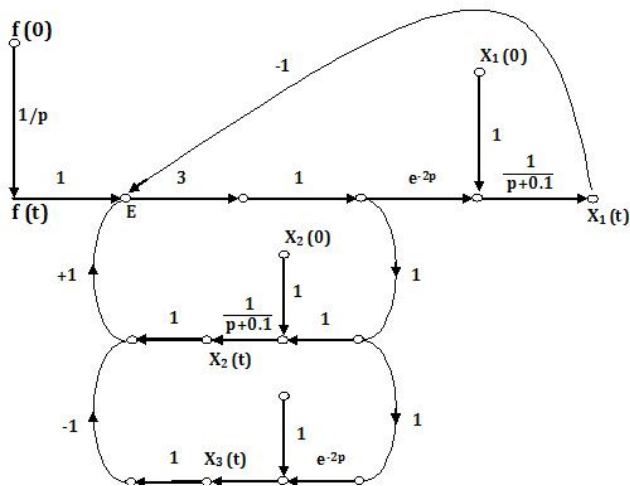
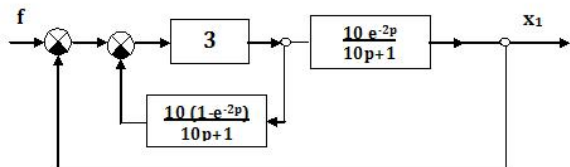


Рисунок 2

Список литературы

1. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем с запаздыванием.-М.: Машиностроение, 1978.
2. Солодов А.В., Солодова Е.А. Системы с переменным запаздыванием. - М.:Наука, 1980.
3. Кадыров А.А. Топологический расчет систем автоматического управления. Учебное пособие. Ташкент: ТашПИ, 1979.

Ubaidullaeva of Shahnaz Rahimjanova, Ph. D., associate Professor, Ataeva Zarina Juraeva, assistant Bukhara branch of Tashkent Institute of irrigation and melioration Bukhara, Republic of Uzbekistan

USING THE METHOD OF DYNAMIC GRAPH MODELS FOR THE CALCULATION OF LINEAR DELAY SYSTEMS

The graph modeling of linear systems with delay on the basis of the cumulative application of the theory of differential equations with deviating argument, apparatus dynamic graphs and examination systems from the standpoint of the dynamic structures and processes allows us to obtain the algorithm of calculation of processes in systems of this class, easily implemented on any of the modern programming languages of high level. We problem of determining of the output process in the control system in the tank mixing based on the use of the method of dynamic graph models.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ 1-ГО ПОРЯДКА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ МЕТОДОМ ШАГОВ И МЕТОДОМ ГРАФОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Убайдуллаева Шахноз Рахимджановна, к.т.н., доцент, Атаева Зарина Джурсаевна, ассистент Бухарский филиал Ташкентского института ирригации и мелиорации, г.Бухара, Республика Узбекистан

В работе выполнен сравнительный анализ решения линейного дифференциального уравнения 1-го порядка с запаздыванием методом шагов и методом графовых моделей. Использование графовой модели в значительной степени упрощает описание и анализ системы, исключает непосредственное интегрирование дифференциального уравнения с запаздывающим аргументом.

Требуется определить выходной сигнал системы, описываемой дифференциальным уравнением [1]:

$$\frac{dx}{dt} = -ax(t) - bx(t - \tau) + u(t)$$

для всех моментов времени $t > t_0$, причем в момент времени t_0 на вход системы подается воздействие $u(t) = 1(t)$. Значения параметров $a=1, b=1$.

Вариант 1. Решение с использованием метода шагов. Рассмотрим вначале формирование выходной величины на отрезке времени $t_0, t_0 + \tau$. На этом отрезке в реальной системе с нулевыми начальными условиями с выхода цели обратной связи сигнала не будет, т.к. он задерживается звеном запаздывания на время, равное величине запаздывания. Таким образом, выходной сигнал $x(t)$ для $t \in [t_0, t_0 + \tau]$ определим, решив неоднородное дифференциальное уравнение 1-го порядка

$$\frac{dx}{dt} = -ax(t) + 1 \tag{1}$$

Для решения уравнения (1) используем один из известных методов, например, вариацию параметров. Решение однородного уравнения находим из характеристического уравнения $r+1=0$, отсюда $r=-1$, $x_h = C_1 e^{-t}$.

Предполагая, $x_p = ue^{-t}$, $\frac{du}{dt}e^{-t} - ue^{-t} = -ue^{-t} + 1$, $\frac{du}{dt}e^{-t} = 1$,
 $u = \int_0^t e^t dt = e^t$,

получим частное решение $x_p = ue^{-t} = 1$.

Общее решение уравнения (1) будет иметь вид $x = x_h + x_p = C_1 e^{-t} + 1$,

где C_1 - постоянная интегрирования, характеризующая состояние системы в момент времени $t=0$.

При нулевых начальных условиях получим $C_1 = -1$ и $x = x_1(t) = 1 - e^{-t}$ (2),
 где $t \in [0, \tau]$.

Из выражения (2) найдем мгновенное значение сигнала x при $t = \tau$: $x(\tau) = 1 - e^{-\tau}$. Функция $x(t)$ полностью определяет выходной процесс на отрезке времени $t \in [0, \tau]$.

Сигнал $x(t) = x_1(t)$, проходящий через звено запаздывания, будет воздействовать на вход системы уже на отрезке времени $[\tau, 2\tau]$ и исходное уравнение системы можно записать в виде: $\frac{dx}{dt} = -x - x_1(t - \tau) + 1$, или

$$\frac{dx}{dt} = -x + e^{-(t-\tau)} \tag{3}$$

Найдем значение сигнала $x(t)$ для $t \in [\tau, 2\tau]$.

Решение, удовлетворяющее однородному уравнению $\frac{dx}{dt} + x = 0$, следующее $x_h = C_2 e^{-(t-\tau)}$. Частное решение находим посредством вариации пара-

метров. Предполагая, что $x_p = ue^{-(t-\tau)}$, имеем частное решение $x_p = ue^{-(t-\tau)} = (t - \tau)e^{-(t-\tau)}$.

Общее решение имеет вид $x = x_h + x_p = C_2 e^{-(t-\tau)} + (t - \tau)e^{-(t-\tau)}$. Где C_2 - постоянная интегрирования, характеризующая состояние системы в момент времени $t = \tau$.

Из решения на предыдущем отрезке мы имели $x(\tau) = 1 - e^{-\tau}$, откуда $C_2 = 1 - e^{-\tau}$ следовательно, на промежутке времени $t \in [\tau, 2\tau]$ на выходе системы получим $x(t) = x_2(t) = (1 - e^{-\tau})e^{-(t-\tau)} + (t - \tau)e^{-(t-\tau)}$ и значение выходного сигнала при $t = 2\tau$.

Аналогично рассмотрим промежуток времени $t \in [2\tau, 3\tau]$. На этом отрезке начальной функцией является сигнал $-x_2(t - \tau)$ на выходе цепи обратной связи. Следовательно, уравнение системы можно записать в виде $\frac{dx}{dt} = -x - [(1 - e^{-\tau})e^{-(t-\tau)} + (t - \tau)e^{-(t-\tau)}] + 1$ (4).

Находим решение однородного уравнения $\frac{dx}{dt} + x = 0$, $x_h = C_3 e^{-(t-2\tau)}$

Частное решение ищем в виде

$$x_p = ue^{-(t-2\tau)}$$

Общее решение имеет вид

$$x = x_h + x_p = C_3 e^{-(t-2\tau)} + [(e^{-\tau} - 1)(t - 2\tau) - \frac{(t - 2\tau)^2}{2} + e^{t-2\tau} - 1]e^{-(t-2\tau)} C_3 -$$

постоянная интегрирования, характеризующая состояние системы в момент времени $t=2\tau$. Его значение мы уже нашли из решения на предыдущем отрезке :

$$C_3 = x_2(2\tau)$$

Следовательно, на промежутке времени $[2\tau, 3\tau]$ выходной сигнал описывается функцией

$$x = e^{-(t-2\tau)}(1 - e^{-\tau} + \tau)e^{-\tau} + [(e^{-\tau} - 1) \times \times (t - 2\tau) - \frac{(t - 2\tau)^2}{2} + e^{t-2\tau} - 1]e^{-(t-2\tau)}$$

Найденные функции $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$ полностью определяют выходной процесс системы на интервале времени от $t=0$ до $t=3\tau$. продолжая последовательно описанную выше процедуру можно получить решение на любом интересующем нас интервале времени.

Вариант 2. Решение с использованием графовой модели системы. Исходя из дифференциального уравнения системы и учитывая то, что звено запаздывания задерживает сигнал с выхода цепи обратной связи на время τ , граф, определяющий поведение системы на отрезке времени $t \in [0, \tau]$, можно изобразить в виде, представленном ниже рисунке (рис.1,а).

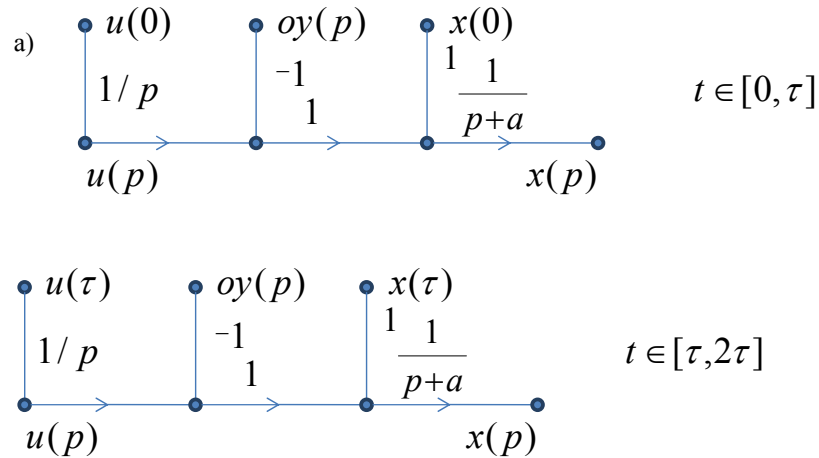


Рис.1

По графу можно определить выходной сигнал системы на отрезке $x(p) = \frac{1}{p(p+1)}u(0) + \frac{1}{p+1}x(0)$, $x(t) = L^{-1}[\frac{1}{p(p+1)}]u(0) = 1 - e^{-t}$, $x(t) = x_1(t)$

Функция $x_1(t)$ определяет выходной процесс системы на отрезке времени $t \in [0, \tau]$. При $x(\tau) = 1 - e^{-\tau}$ имеем $x(\tau) = 1 - e^{-\tau}$. Так как сигнал $x_1(t)$ проходит через звено запаздывания, то оно появляется на выходе цепи обратной связи в виде функции $y(t) = x_1(t - \tau)$ на следующем отрезке времени $[\tau, 2\tau]$.

Сигнал $x_1(t - \tau)$ является начальной функцией, а мгновенное его значение $-x_1(\tau) = x(\tau)$ начальным условием на отрезке $[\tau, 2\tau]$. Исходя из этих соображений, строим граф для $t \in [\tau, 2\tau]$ (рис.1,б). Из рассмотрения графа находим

$$x(p) = \frac{1}{p(p+1)}u(\tau) + \frac{1}{(p+1)}x(\tau) - \frac{1}{p(p+1)^2}$$

Из последнего соотношения находим

$$x(t) = x_2(t) = (1 - e^{-\tau})e^{-(t-\tau)} + (t - \tau)e^{-(t-\tau)}$$

Значение выходного сигнала при $t = 2\tau$ равно

$x(2\tau) = x_2(2\tau) = e^{-\tau}(1 - e^{-\tau} + \tau)$. Функция $x(t) = x_2(t)$ определяет выходной процесс на отрезке $t \in [\tau, 2\tau]$.

Рассмотрим далее промежуток времени $t \in [\tau, 2\tau]$. На выходе цепи обратной связи появляется сигнал $y(t) = x_2(t)$, который является начальной функцией, а мгновенное значение $-x_2(\tau)$ - начальным условием для этого промежутка времени. Для отрезка $t \in [\tau, 2\tau]$, имеем

$$x(p) = x_3(p) = \frac{1}{p(p+1)}u(2\tau) + \frac{1}{(p+1)}x(2\tau) - \frac{1}{(p+1)}x_2(p)$$

Выполнив обратное преобразование Лапласа для последнего соотношения, будем иметь

$$x = e^{-(t-2\tau)}(1 - e^{-\tau} + \tau)e^{-\tau} + [(e^{-\tau} - 1)(t - 2\tau) - \frac{(t - 2\tau)^2}{2} - 1]e^{-(t-2\tau)} + 1$$

Выполняя последовательно указанную выше процедуру, можно получить решение и на последующих интервалах времени. Из рассмотренного примера налицо видно преимущество графового метода [2]. Использование графовой модели в значительной степени упрощает описание и анализ системы, исключает непосредственное интегрирование дифференциального уравнения с запаздывающим аргументом.

Список литературы

1. Солодов А.В., Солодова Е.А. Системы с переменным запаздыванием. - М.: Наука, 1980.
2. Кадыров А.А. Топологический расчет систем автоматического управления. Учебное пособие. Ташкент: ТашПИ, 1979.

Ubaidullaeva of Shahnaz Rahimjanova, Ph. D., associate Professor, Ataeva Zarina Juraeva, assistant Bukhara branch of Tashkent Institute of irrigation and melioration, the city of Bukhara, Republic of Uzbekistan

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOLUTIONS OF LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS OF 1ST ORDER WITH DELAY METHOD STEPS AND METHOD OF GRAPH MODELS

In work the comparative analysis of solutions of linear differential equations of 1st order with delay method steps and method of graph models. The use of graph model greatly simplifies the description and analysis of the system, precludes the direct integration of the differential equation with retarded argument.